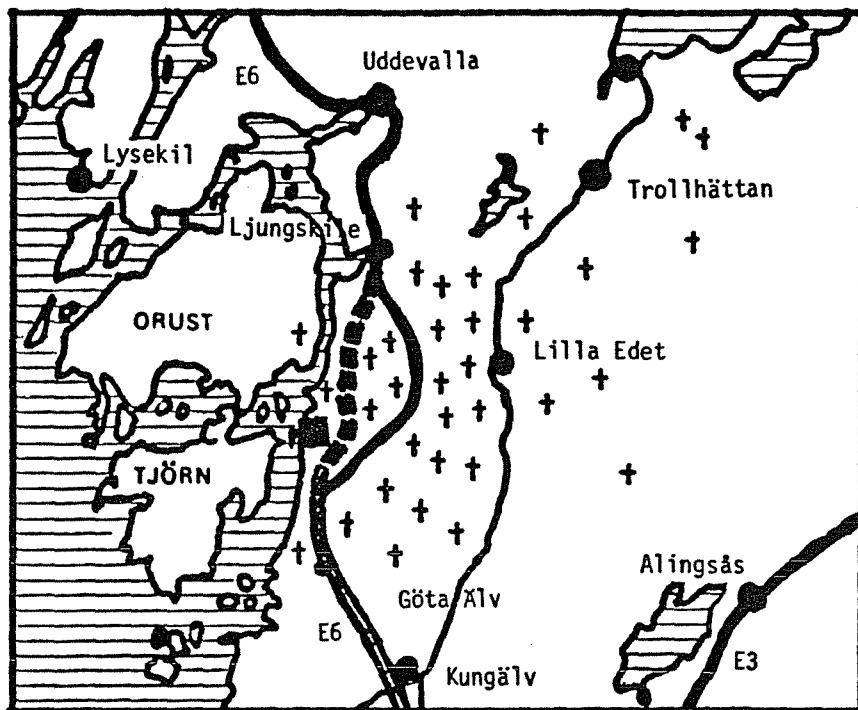


CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Kemisk Miljövetenskap



## PETROKEMI + MOTORVÄG

### SKADAR VÄSTSVENSKA SKOGAR

En luftföroreningsstudie för Stenungsundsregionen  
utförd på uppdrag av  
Svenska Naturskyddsföreningen

GÖRAN PETERSSON

Februari 1987

## SAMMANFATTNING

Utsläppen från den petrokemiska industrin i Stenungsund orsakar särskilt svåra skogsskador i ett ca 500 km<sup>2</sup> stort område österut. Hela Stenungsunds kommun och flera grannkommuner berörs. Under sommaren uppträder växtskadande ozonhalter högt över internationella gränsvärden. De förhöjda ozonhalterna orsakas främst av utsläpp från Statoil och Neste på ca 2000 ton/år av kolvätena eten och propen. Kväveoxider från trafiken på E6 bidrar till de höga halterna av ozon.

Den planerade nya motorvägen mellan Stenungsund och Ljungskile skulle förvärra skogsskadorna ytterligare. Detta skulle nödvändiggöra dels olika restriktioner för trafiken på motorvägen och dels ännu mer långtgående miljökrav på den petrokemiska industrin. Stopp för driften vid industrierna under kritiska sommarperioder kan vara en utväg.

## BAKGRUND TILL RAPPORTEN

Sedan ett par decennier har man i USA varit klar över att utsläppen av kolväten och kväveoxider är huvudorsaken till luftföroreningsskadorna där på grödor och skog. Kolväten och kväveoxider ger i atmosfärkemiska reaktioner upphov till ozon och andra ämnen som skadar växterna. När skogsskadeproblemets allvar för några år sedan stod klart i Västtyskland och senare i Sverige skylldes det först yrvaket på förurningen. Numera är det allmänt erkänt att kolväten och kväveoxider spelar en huvudroll för skogsskadorna i Västtyskland (ref I) och i Sverige sprider sig alltmer insikten att detta gäller även här.

Under de senaste åren har regionala skogsskador som tillskrivs luftföroreningar fått en skrämmande omfattning i sydvästra Sverige. Totalt sett är bilismens stora utsläpp av kolväten och kväveoxider en dominerande orsak (ref II). Särskilt svåra skador i vissa områden beror dock oftast på att föroreningar från andra källor adderas till dem från bilismen. För de omfattande skogsskadorna i mellersta Bohuslän kan Stenungsundsindustrins stora kolväteutsläpp spela en huvudroll.

Utgångspunkten för denna studie har varit ett uppdrag från SNF att belysa skogsskadeeffekter av den planerade motorvägen Stenungsund-Uddevalla. Den petrokemiska industrins utsläpp påverkar ungefär samma områden som denna väg. Motorvägsemissionernas roll bestäms därför av hur de samverkar med industrins luftföroreningar och en isolerad studie av motorvägen skulle vara vilseledande. Denna rapport inriktas därför på det totala luftföroreningsläget i området med hänsyn till skogspåverkan.

Rapportens syfte är att klarlägga problemen på ett vetenskapligt tillräckligt djupgående men ändå för läsaren lättillgängligt sätt. Orsakssambanden mellan utsläpp av kolväten och kväveoxider och förekomst av ozon m fl skogsskadande luftföroreningar är dock komplexa och hela bakgrunden kan inte ges här. En studie inför Volvos Uddevallaetablering (ref III) tar mer utförligt upp kända fakta kring oxidantbildning i utsläppspolymer. För den särskilt intresserade finns även annan litteratur sammanställd (ref IV, V). Några centrala och delvis dåligt kända aspekter på problematiken tas upp i bilagorna 1-5 i denna rapport.

Ekonomiskt stöd. Arbetet med rapporten har stötts ekonomiskt av medel som beviljats av Svenska Naturskyddsföreningen från Valdemar och Emmy Gustafssons Naturvårdsfond.

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Utsläpp i Stenungsundsområdet	sid 1
Atmosfärkemi. Eten och propen	6
Landbris och sjöbris	11
Beräknade ozonhalter	14
E6 och petrokemin	17
Ny motorväg?	19
Ozonhalter och skogsskador	22
Vad kan göras för skogen?	25
Stenungsunds industri	25
Motorvägstrafik	26
Stenungsunds kommun	28
MUST, miljöskyddet och motorvägen	30
MUST och skogen	30
Systemfel!?	32
Skadestånd för skogsskador	33
Mer motorväg?	34
Litteratur	35
Bil. 1: Kolväten ger ozon	
Bil. 2: Dygnsvariation för ozon	
Bil. 3: Ozon i utsläppsplymer	
Bil. 4: Kolväten och kväveoxider	
Bil. 5: Västkusten särskilt utsatt	
Pressklipp	

## UTSLÄPP I STENUNGSUNDSOMRÅDET

Omfattningen av förekommande utsläpp av olika ämnen är en självklar utgångspunkt för en granskning av samband mellan luftföroreningar och skogsskador i Stenungsundsregionen. Nedan ges en översikt i tabellform av dels industrins kolväteutsläpp och dels trafikens utsläpp. Utsläppen diskuteras kortfattat i anslutning till tabellerna.

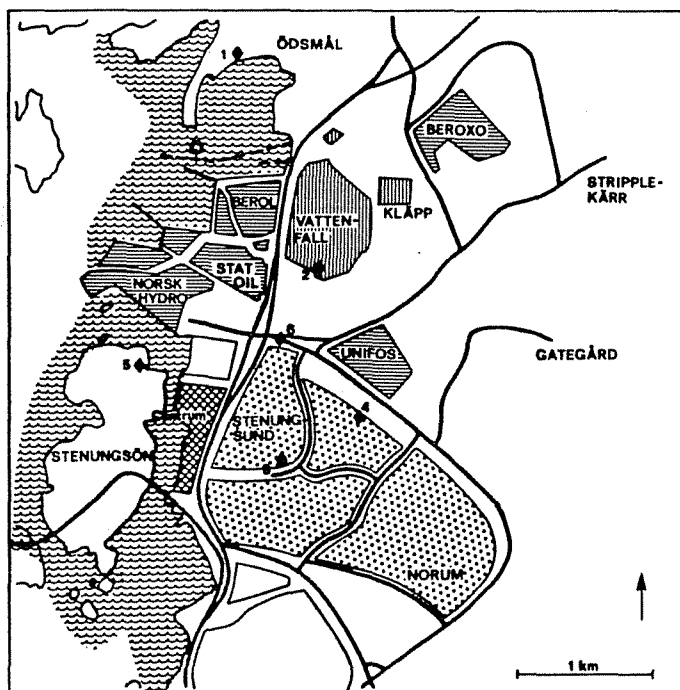
Miljöfrågor kring framför allt den petrokemiska industrin har under flera år studerats i "Miljöutredning för Stenungsund" (MUST). Tabellernas utsläppsdata grundas till stor del på studier som ingått i denna utredning.

Den petrokemiska industrin. Den petrokemiska industrins lokalisering och produktionsstruktur illustreras översiktligt nedan (ref IX).

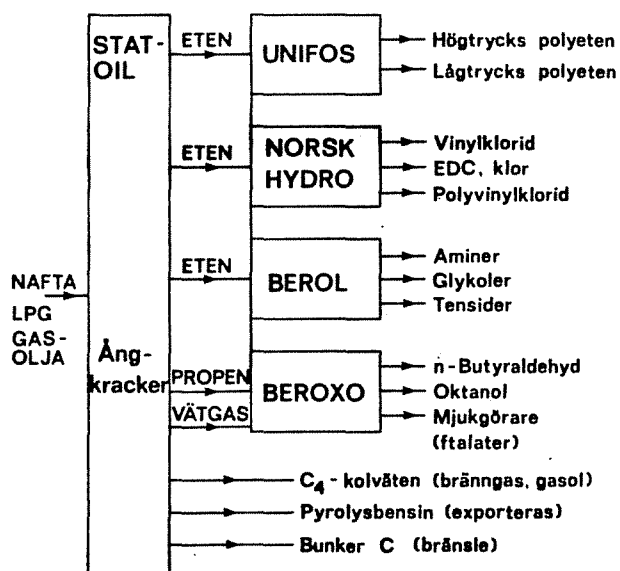
Statoil (f d Esso Chemical) framställer det kolväte, eten, som huvuddelen av petrokemin i Stenungsund baseras på. Vid finskägda Neste (f d Unifos) framställs plastråvaran polyeten från eten. Med hänsyn till skogsskador är de mycket stora utsläppen av eten och propen från Statoil och av eten från Neste en huvudfråga. För båda industrierna gäller att största delen av utsläppen härrör från svårkontrollerat s k diffust läckage från hundratal olika punkter i anläggningarna.

Vid Norsk Hydro (f d Kema Nord) tillverkas plastråvaran polyvinylklorid (PVC) med utgångspunkt från eten och klorgas. Stora utsläpp sker av de genotoxiska mellanprodukterna vinylklorid (VCM) och diklorethan (EDC). Betydelsen av dessa ämnen i skogsskadesammanhang är dåligt känd och de tas därför inte upp närmare här.

Utsläppen till luft från Berol och Beroxo är delvis kemiskt komplexa, men kvantitativt mycket mindre än från de tre övriga industrierna.



### PETROKEMIN I STENUNGSUND



C:A 1,1 MILJON TON NAFTA OCH GAS  
PASSERAR VARJE ÅR, VILKET MOTSVARAR  
C:A 350 000 TON ETEN.

Tabell 1. Kolväteutsläpp från Stenungsundsindustrin

	Högreaktiva ämnen	ton/år	Medelreaktiva ämnen	ton/år	Lågreaktiva ämnen	ton/år
STATOIL	propen <sup>c</sup>	500	eten <sup>c</sup>	700	propan <sup>a</sup> bensen	500 50
NESTE	propen	50	eten <sup>d</sup>	900		
NORSK HYDRO			eten	50	vinylklorid diklorethan	150 200
BEROL			eten etenoxid <sup>b</sup>	50 50		
BEROXO	butanal <sup>b</sup>	50				
VATTENFALL			alkylbensener <sup>e</sup>	50	alkaner <sup>e</sup>	200
	Summa	600 ton/år	Summa	1800 ton/år	Summa	900 ton/år

<sup>a</sup> Inklusive ca 100 ton etan och butan. <sup>b</sup> Inkluderar flera andra ämnen med likartad reaktivitet. <sup>c</sup> Huvuddelen från krackerområdet. <sup>d</sup> Mer än hälften från högtrycksfabriken. <sup>e</sup> Från oljelagring i berggrum.

Utsläppsdata. De angivna utsläppssiffrorna bygger främst på MUST-rapporter (ref. VI, VII, VIII). Flera av värdena är osäkra och troligen lågt satta. Det bör särskilt observeras att mycket högre utsläpp kan förekomma vid driftstörningar och avvikelser från normal drift. MUST-Rapport 29 (ref VI) räknar med att olika utsläpp då kan bli 5-10 gånger större än vid normal drift.

Reaktivitet. Reaktivitet avser här hur snabbt och effektivt olika kolväten kan ge bildning av ozon m fl oxidanter. De högreaktiva kan ge maximala oxidanthalter redan efter någon timme i starkt solljus. Morgonutsläpp av medelreaktiva kolväten kan ge maximala oxidanthalter på eftermiddagen. Lågreaktiva ämnen har halveringstider på mer än en dag och bidrar mycket mindre till oxidantbildning under den första dagen.



Klorgas och kväveoxider. Vid Norsk Hydro hanteras klorgas som kan accelerera oxidantbildning kraftigt vid tillfällen då utsläppen är betydligt större än vad som svarar mot de ca 10 ton/år som anges för normaldrift (ref VI).

På grund av de stora kolväteutsläppen kan kväveoxider bli begränsande för ozonbildningen i utsläppsplymerna. Relativt jämnt fördelat på de fem petrokemiska industrierna beräknas ca 200 ton/år kväveoxider (räknat som NO<sub>2</sub>) emitteras. Eftersom dessa utsläpp sker nära kolväteutsläppen får de särskilt stor betydelse för de atmosfärskemiska reaktionerna och ökar ozonbildningen i utsläppsplymerna.

Vattenfalls kondenskraftverk. Detta reservkraftverk ger extremt stora utsläpp av svaveldioxid och kväveoxider då det används. Eftersom detta sker främst på vintern har dessa utsläpp knappast någon betydelse för sommarhalvårets oxidantproblem. Däremot ger drift av kraftverket stora tillskott till mark- och vattenförsurningen. I närområdet ger dessutom utsläppen av svaveldioxid direkta vegetationsskador.

Genotoxiska ämnen. Stenungsundsindustrins utsläpp karakteriseras av en mycket hög andel väldokumenterat genotoxiska ämnen som alltså medför risker för genetiska skador på växter, djur och människor. Dikloretan och etenoxid är direkt genotoxiska, medan eten, propen och vinylklorid är genotoxiska efter metabolisk omvandling. Risker med utsläpp av extremt högttoxiska ämnen som dioxiner uppstår sannolikt främst vid driftstörningar i Norsk Hydros destruktionsugn.

Tabell 2. Utsläpp (ton/år) från E6 och Stenungsunds tätort

	Högr. CH <sub>x</sub>	Medelr. CH <sub>x</sub>	Lågr. CH <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub> (som NO <sub>2</sub> )
E6 (Kode-Ljungskile; ca 30 km)				
Bensinfordon <sup>d</sup>	10 <sup>a</sup>	40 <sup>b</sup>	100 <sup>c</sup>	300
Dieselfordon	-	10	20	200
STENUNGSUNDS TÄTORT				
Trafik	10 <sup>a</sup>	100 <sup>b</sup>	200 <sup>c</sup>	200
Bensinstationer	-	10 <sup>b</sup>	100 <sup>c</sup>	-
Lösningsmedel etc	-	30	60	-
Bostadsuppvärmning	-	10	20	50
E6 + TÄTORT (totalt)	20	200	500	750
PETROKEMI (Tabell 1)	600	1800	900	200

<sup>a</sup> Främst propen och butener. <sup>b</sup> Främst toluen och xylen m fl alkylbensener.

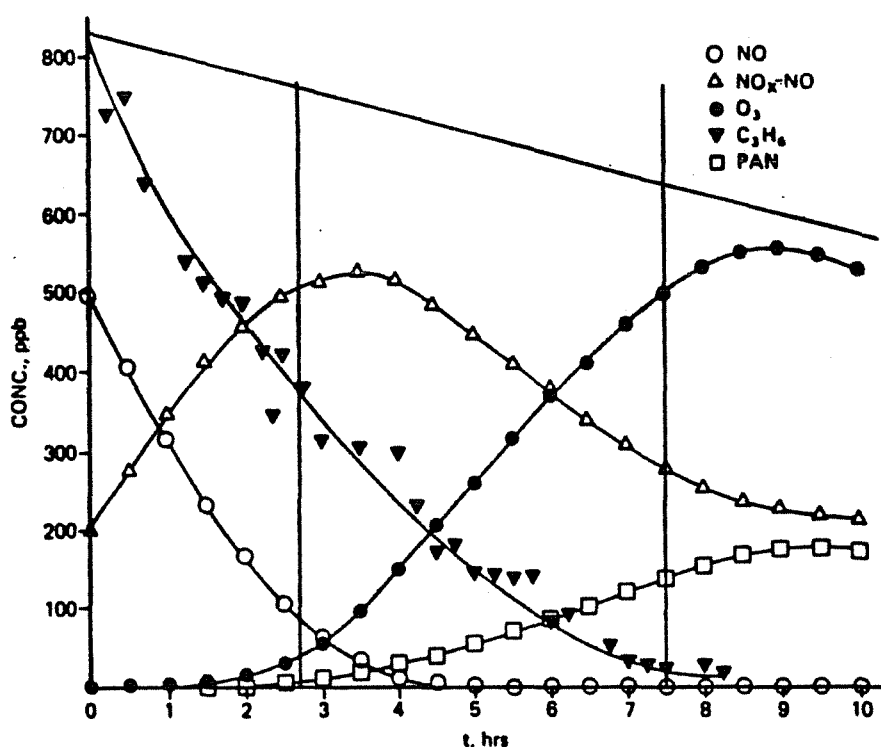
<sup>c</sup> Främst alkaner, C<sub>4</sub>-C<sub>6</sub>. <sup>d</sup> 10.000 fordon/dygn och 100 km/tim.

Utsläppsdata. Tabellens utsläppssiffror avser endast att ange storleksordningen för olika utsläpp. De grundas bl a på MUST-rapporter (ref. VI, VIII) och när det gäller E6 på emissionsfaktorer för bensinfordon (ref. XII). Med hänsyn till oxidantbildning är utsläppens storlek under sommarens högtrycksperioder mest intressanta. Utsläppen från personbilstrafiken på E6 kan särskilt under semester-tiden vara ungefär dubbelt så stora som årsgenomsnittet.

Kolväten och kväveoxider. Den petrokemiska industrin dominerar kolväteutsläppen särskilt starkt just för de fotokemiskt mer reaktiva kolvätena. Trafikens kolväteutsläpp kan å andra sidan snabbt bidra till oxidantbildning genom att de blandas effektivt med trafikens kväveoxidutsläpp. Till skillnad från kolväteutsläppen domineras kväveoxidutsläppen av trafiken. Bostadsuppvärmningens utsläpp sker dessutom främst på vintern. De stora totala kolväteutsläppen medför att kväveoxider normalt blir begränsande för uppkomsten av höga ozonhalter i Stenungsundsområdet.

# ATMOSFÄRKEMI, ETEN OCH PROPEN

Utsläppen från den petrokemiska industrin i Stenungsund domineras av eten ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ) och propen ( $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ ). Atmosfärkemiskt uppvisar dessa båda närbesläktade alkener många likheter men också viktiga skillnader. Följande figur illustrerar reaktionsförlopp för propen under simulering av oxidantbildning i reaktionskammare (ref. XI).

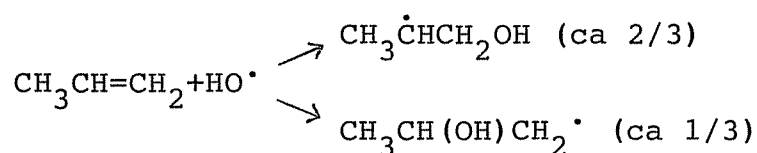


NO: Kvävemonoxid  
 NO<sub>2</sub>: Kvävedioxid  
 NO<sub>x</sub>-NO ≈ NO<sub>2</sub> (+PAN)

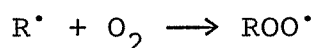
O<sub>3</sub>: Ozon  
 C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> (CH<sub>3</sub>CH=CH<sub>2</sub>): Propen  
 PAN: Peroxiacetylnitrat

Kemiska reaktioner. Även om atmosfärkemin i sin helhet är mycket komplicerad kan huvudförloppen förklaras med ett fåtal reaktioner.

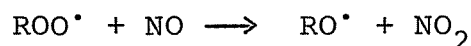
Vid dagsljus finns hydroxidradikaler i luft. Dessa initierar normalt nedbrytningen av kolväten. För alkener sker detta genom att OH-radikalen adderas till dubbelbindningen.



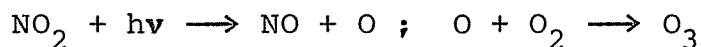
De bildade radikalerna ( $\text{R}^\bullet$ ) adderar snabbt en syremolekyl.



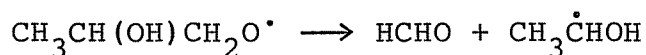
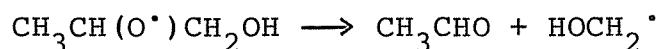
Peroxidradikalerna ( $\text{ROO}^\bullet$ ) reagerar i sin tur med kvävemoxid varvid kvävedioxid bildas.



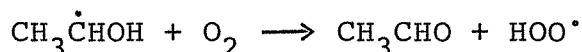
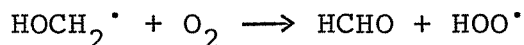
Fotolys av  $\text{NO}_2$  leder så till ozonbildning.



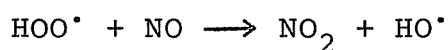
Alkoxiradikalerna ( $\text{RO}^\bullet$ ) kan bl a ge bildning av acetaldehyd och formaldehyd.



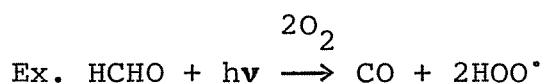
Även de nya radikalerna kan ge samma aldehyder



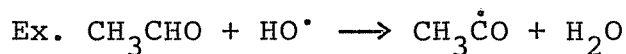
Väteperoxidradikalen ( $\text{HOO}^\cdot$ ) reagerar analogt med de organiska peroxidradikalerna ( $\text{ROO}^\cdot$ ). Mer ozon bildas via kvävedioxid och en OH-radikal återbildas.



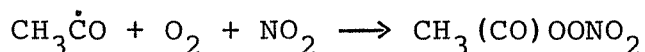
Acetaldehyd och formaldehyd kan liksom andra aldehyder och ketoner spaltas fotokemiskt, varvid radikalbildning och därmed övriga kemiska förlopp accelereras.



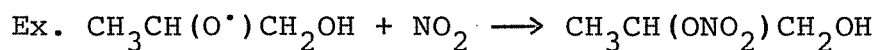
Aldehyderna kan också liksom egentliga kolväten reagera med hydroxidradikalen under väteabstraktion.



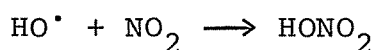
Acetylradikalen reagerar vidare till peroxiacetylnitrat (PAN)



Även alkoxiradikaler kan reagera med  $\text{NO}_2$  varvid organiska nitrater bildas.

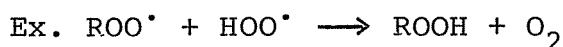


Den helt dominerande bildningsvägen för salpetersyra i atmosfären är en reaktion mellan kvävedioxid och OH-radikalen.



Tidsförlopp och halter. Modellförsök avspeglar ofta väl relationer mellan halter och tidsförlopp för olika ämnen även vid skilda absolutvärden. Som framgått av givna reaktioner är kvävedioxid, formaldehyd och acetaldehyd intermediära ämnen med relativt tidiga haltmaxima. I försöket ligger dessa för formaldehyd och acetaldehyd mellan tre och sju timmar och på ca 340 resp 140 ppb. Ozon, PAN och salpetersyra uppvisar senare haltmaxima.

Låga NO<sub>x</sub>-halter. Den förorenade Stenungsundsluften karakteriseras av relativt sett betydligt lägre NO<sub>x</sub>-halter än i modellförsöket. Detta ökar bl a halten av peroxidradikaler och därigenom också halterna av väteperoxid, HOOH och organiska peroxider av typerna ROOH och R(CO)OOH.



Låga halter av kväveoxider begränsar samtidigt bildningen av bl a PAN och salpetersyra.

Mutagenicitet. Nyligen har metoder utvecklats för bestämning av mutagenicitet för gasformiga ämnen via bakterietester. Huvudsyftet med det modellförsök som nämnts (ref. XI) var sådana bestämningar. De två lodräta strecken i diagrammet representerar de två tider vid vilka mutageniciteten för reaktionsblandningen mättes. En måttligt förhöjd respektive en alarmerande mycket hög mutagenicitet registrerades vid de två tidpunkterna.

Den höga mutageniciteten efter lång reaktionstid kunde endast till ca 10% förklaras med förekomsten i reaktionsblandningen av kända mutagener som formaldehyd och PAN. Oidentifierade faktorer svarar alltså för huvuddelen av mutageniciteten. Misstänkta ämnen är organiska peroxider som i vissa fall visats ha hög mutagenicitet. Bland många andra potentiella mutagener finns även organiska nitrater.

Eten enklare. Skillnaden i struktur leder till att eten knappast alls ger någon bildning av acetaldehyd och PAN. I övrigt är huvudreaktionerna analoga med dem för propen och leder bl a till en omfattande bildning av formaldehyd.

En viktig skillnad är att reaktionsblandningen enligt bakterietest har en mycket lägre mutagenicitet än för propen. Den mutagena aktiviteten för produkterna från eten kan hänföras till den bildade formaldehyden.

En annan viktig skillnad är att propen reagerar ca tre ggr snabbare med OH-radikalen än vad eten gör. Eftersom denna reaktion är hastighetsbestämmande uppträder de olika reaktionsprodukterna motsvarande senare för eten. Åtminstone för utsläpp som sker under dagen innebär detta att bl a ozonbildningskapaciteten hinner utnyttjas mer fullständigt för propen än för eten under den första kritiska dagen. Det innebär också att maximala halter för t ex ozon i en dagplym uppnås närmare utsläppet för propen än för eten.

Mörkerreaktioner. Propen, eten och andra alkener reagerar med ozon så att dubbelbindningen spjälkas under bildning av bl a aldehyder och vissa fria radikaler. Från eten bildas formaldehyd och från propen acetaldehyd i något lägre utbyte. Propen reagerar flera gånger snabbare än eten med ozon.

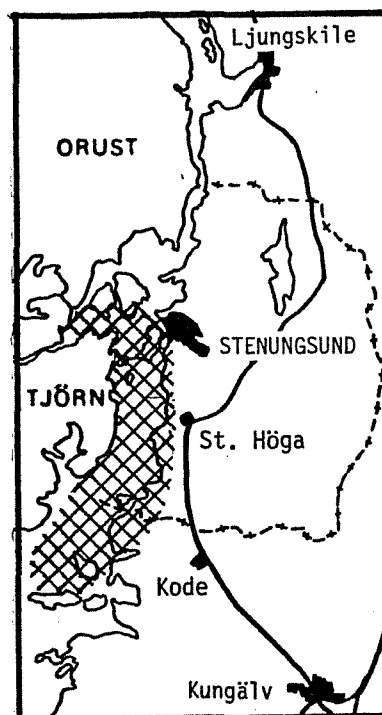
Under natten innebär dessa reaktioner med ozon att en uppsamlad förorenad luftmassa kan få en högre reaktivitet när de fotokemiska reaktionerna börjar på morgonen. Samtidigt kan reaktionerna minska ozonhalten i nattplymer och förorenad nattluft.

Även under dagen kan resultatet ibland bli sänkta ozonhalter i plymen närmast utsläppen. Detta gäller särskilt propen och i första hand under dagar med ogynnsamma förutsättningar för oxidantbildning.

## LANDBRIS OCH SJÖBRIS

För oxidantproblemen från Stenungsundsutsläppen spelar luftföroreningarnas transport med landbris och sjöbris under sommarens högtrycksperioder en huvudroll. Hur denna transport sker ut över fjordarna och sedan in över land igen avgör vilka områden som då drabbas av höga oxidanthalter och åtföljande vegetationsskador.

Landbris och bergvind. Klara nätter avkyls marken snabbt genom värmeutstrålning. Kall marknära luft strömmar då ut över de varmare vattenytorna. Fjordarna utanför Stenungsund är relativt trånga och landbrisen kan därför förväntas bli svag. Den förstärks dock av att kall luft på grund av sin större tyngd strömmar ner från de omgivande höjderna. Denna s k bergvindseffekt kan möjligen i Stenungsundsområdet spela en större roll än landbriseffekten.





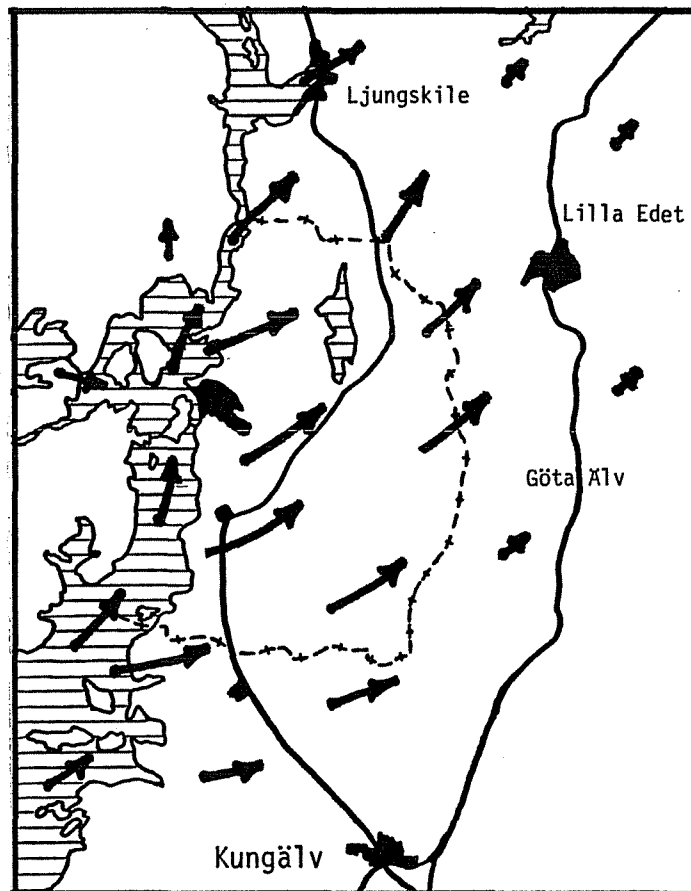
Uppsamlingsområde. På vänstra kartavsnittet skisseras efternattens vindrörelser. Efterhand fylls fjordbassängerna med kall luft som sedan strömmar vidare, främst söderut genom Hakefjorden (ref. VI). Denna typ av luftströmning pågår normalt fram till mitt på förmiddagen.

På högra kartavsnittet skisseras vilken utbredning luftföroreningarna från Stenungsundsindustrierna har fått under morgonen. Ofta transporteras säkerligen utsläppen längre sträckor och på ett annorlunda sätt. Det markerade området visar därför snarast på var särskilt höga halter kan förväntas uppträda i normalfallet.

Atmosfärkemi. Den förorenade kallluften över fjordarna omblandas under natten upp till något hundratal meters höjd genom inverkan från den varmare vattenytan. Ozon i denna luftmassa förbrukas delvis genom reaktion med bl a kvävemonoxid, propen och eten. Därvid bildas bl a kvävedioxid, formaldehyd och acetaldehyd som alla bidrar till en ökad fotokemisk aktivitet i luften efter solens uppgång.

Den förorenade luftmassan ligger kvar över fjordarna i flera timmar i solljus. Förutsättningarna är då mycket gynnsamma för de kemiska reaktioner som ger oxidantbildning. Föroreningshalterna är höga, depositionen på vattenytor låg, och ljuset starkt.

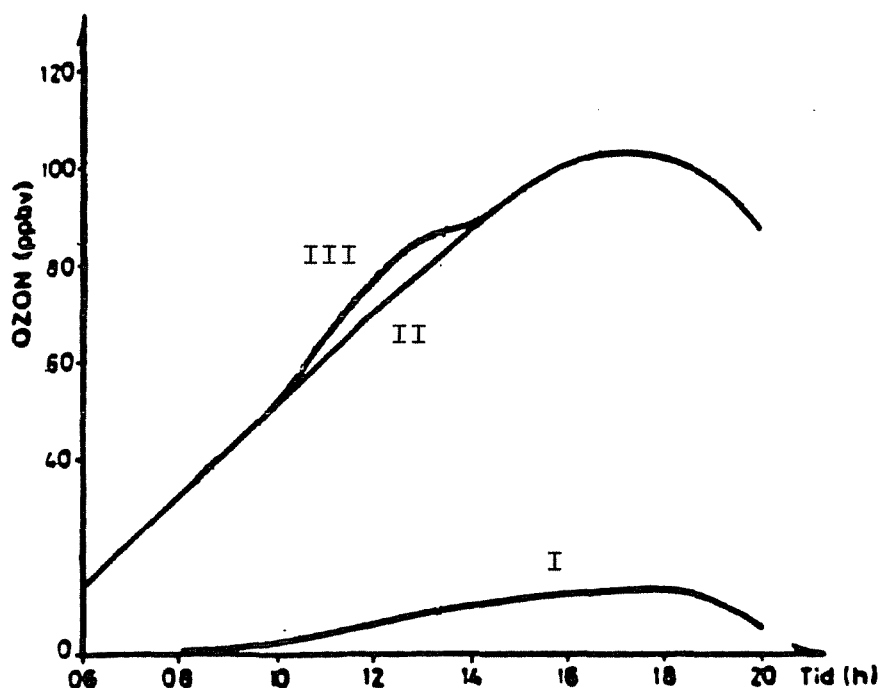
Sjöbris. Fram på förmiddagen har solen värmt upp marken så mycket att en sjöbris börjar uppträda. Denna för då förorenad luft från fjordarna in över land. På eftermiddagen ökar sjöbrisen i styrka och kanaliseras av Hakefjorden i riktning mot nord och nordost (ref. VI). Den förorenade luftens transport med sjöbrisen skisseras nedan.



Oxidanter över land. Inne över land ökar blandningshöjden för den förorenade luften och regionalt ozon från högre luftlager blandas ned. Men framför allt fortgår atmosfärkemin i den förorenade luften. Maximala halter av ozon och peroxiacetylnitrat m fl oxidanter uppnås under eftermiddagen. Huvuddelen av den förorenade luftmassan finns då inne över skogarna öster om fjordarna.

### BERÄKNADE OZONHALTER

MUST-Rapport 29 (ref. VI) redovisar beräkningar av vilka ozonhalter som orsakas av utsläppen från Stenungsunds tätort och Stenungsundsindustrin. Resultaten sammanfattas av följande diagram (observera att de angivna halterna adderas till ofta höga regionala bashalter).



- I Halter i plymen från Stenungsund med endast tätortens trafikutsläpp (inga industriutsläpp) i såväl landbris som sjöbris.
- II Arsmedelutsläpp från industrin och tätorten i landbrisen. Inga industriutsläpp i sjöbrisen.
- III Medelhalter i industriplymen. Arsmedelutsläpp från industrin och tätorten i såväl landbris som sjöbris.

Recirkulation värst. Diagrammet illustrerar på ett dramatiskt sätt vilken avgörande roll recirkulation med landbris och sjöbris spelar för oxidantbildningen från Stenungsundsutsläppen. Stora landområden nås med sjöbrisen av den under natten i fjordbassängen uppsamlade luften. Huvuddelen av dessa berörs knappast alls av dagplymen från Stenungsund men kan alltså ändå få starkt förhöjda halter. Detta gäller för hela södra hälften av Stenungsunds kommun.

Haltnivåer. Resultaten av haltberäkningar för ozon styrs av valet av beräkningsparametrar. Detta belyses i viss mån i rapporten (ref. VI). Vissa parameterväl med stor betydelse för de beräknade haltnivåerna i sjöbrisen diskuteras kortfattat nedan.

Uppsamlingsområde. Arealen för den under natten förorenade fjordbassängen har satts till  $200 \text{ km}^2$ . Om den sätts till  $100 \text{ km}^2$  erhålls ca 30 ppb högre halter! I verkligheten är sannolikt arealen för den mest förorenade luftmassan än mindre.

Blandningshöjd. Blandningshöjden över fjordbassängen under natten har satts till 250 m. MUST-Rapport 32 (Ref. VIII) anger 150 m från mätningar, vilket torde vara ett mer typiskt värde. Detta leder sannolikt till 10-20 ppb högre ozonhalter.

Inlandsspridning. Beräkningarna grundas på en konstant sjöbris om 2 m/s. Detta leder till att maximala halttillskott skulle uppträda 3-5 mil inne över land. Områdets geografi och topografi gör det troligt att sjöbrisen bromsas upp och når endast 10-15 km in över land i normalfallet. Detta leder till att mycket mindre arealer drabbas, men att halttillskotten där blir högre än beräknat.

Mörkerreaktioner. Beräkningarna utgår från att utsläppen blandas med ren luft under natten. I luften finns dock ofta höga regionala halter av ozon som under natten omvandlar kvävemoxid och alkener till kvävedioxid resp aldehyder. Detta kan antas medföra en snabbare oxidantbildning under dagen än beräknat.

Halttillskott i dagplymen. Diagrammet anger ett överraskande litet ozontillskott i den luft som med begynnande sjöbris passerar över Stenungsund kl 10. Detta onormala resultat förklaras av att kväveoxidutsläppen beräknats vara relativt små från såväl tätorten som industrin och därför blir begränsande för ozonbildningen. Det beräknade halttillskottet uppträder relativt tidigt och torde kunna hänföras främst till utsläpp av propen.

Ofta uppträder en luftstagnation i övergången mellan landbris och sjöbris. Beräkningar för en timmes stagnation över Stenungsund onkring kl 10 visade på ca 3 gånger högre ozontillskott än i diagrammet.

Även om ozontillskotten i dagplymen är förhållandevis små får de inte negligeras eftersom det är topphalterna som ger vegetationsskador. Beroende på bl a vindriktning och vindhastighet kan den relativt smala dagplymen drabba områden som är olika från timme till timme och dag till dag. Även den komplicerade topografin i inlandet påverkar dagplymen. Genomgående är dock höjdlägen värst utsatta för höga ozonhalter.

## E6 OCH PETROKEMIN

Mellan Kode och Ljungskile går europaväg E6 genom det område som mest påverkas av Stenungsundsindustrins utsläpp. Betydelsen av utsläppen från E6 för oxidantbildningen i området beror därför i avgörande grad på samverkan med industriutsläppen.

Sträckningen för nuvarande E6 framgår av kartskiss. Söderut mot Göteborg har E6 motorvägsstandard med 110 km/h som fartgräns.

Kväveoxider. Jämfört med utsläppen från själva Stenungsund är speciellt kväveoxidutsläppen från E6 mycket stora (Tabell 2). Detta förklaras av de höga kväveoxidhalterna i bilavgaser vid höga hastigheter.

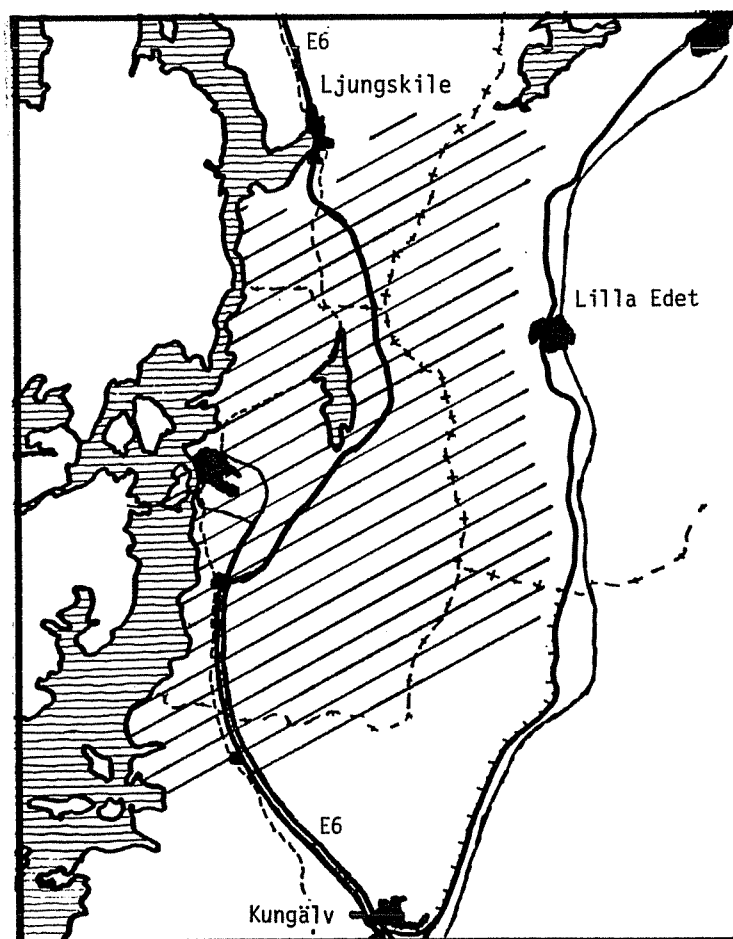
Ozonbildningen i området skiljer sig från vad som är normalt genom att den är kväveoxidbegränsad. Därigenom kan utsläppen från det berörda avsnittet av E6 förväntas bidra onormalt mycket till ökade ozonhalter.

Recirkulation från E6. Morgonens utsläpp från motorvägen mellan Kode och Stenungsund förs med landbris ut mot Hakefjorden och blandas med industriutsläppen från Stenungsund. Tillskottet av kväveoxider torde öka ozonhalterna i sjöbrisen med 10-50 ppb utöver vad som angetts ovan för beräkningar utan särskild hänsyn till E6. När sjöbrisen passerar E6 blandas ännu mer kväveoxider in som ökar ozonbildningen ytterligare något inne över land.

Nuvarande E6 norrut mellan St. Höga och Ljungskile går så långt in i landet att morgonens utsläpp bara till en mindre del kan föras ut över fjordarna. Bidraget till oxidantbildning genom recirkulation blir därför begränsat för denna sträcka. Dessutom är trafikmängden och hastigheterna lägre och därmed kväveoxidutsläppen mindre än på motorvägssträckan.

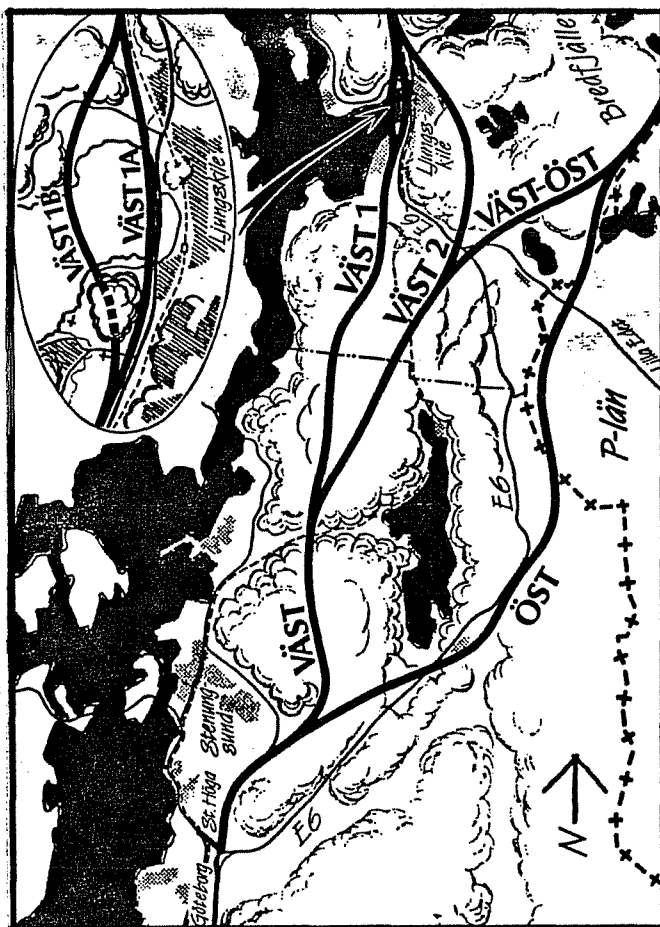
Drabbade områden. Vid öppna kustlinjer når sjöbrisen ca tre mil in över land. Stenungsunds läge medför sannolikt en svagare sjöbris som kanske når endast 10-15 km in över fastlandet väster om Göta Älvs dalgång. Området som sannolikt drabbas värst av höga ozonhalter vid recirkulation har snedstreckats i kartavsnittet. Det innefattar hela Stenungsunds kommun, angränsande delar av Lilla Edets kommun samt Uddevalla kommun söder om Ljungskile.

Stenungsunds läge kan antas medföra att mindre arealer berörs än om motsvarande utsläpp skulle ske utefter en öppen kustlinje. Utsläppens uppsamling i en fjordbassäng med liten areal och sjöbrisens begränsade styrka medför å andra sidan högre föroreningshalter. Detta innebär betydligt värre skogsskador för de områden som drabbas.



### NY MOTORVÄG?

I regeringens s k Uddevallapaket ingick planer på en ny motorväg från Stenungsund till Uddevalla. Regeringsbeslut om ett eventuellt byggande av en första etapp mellan St. Höga och Ljungskile är nu aktuellt. Just denna sträcka är speciellt kritisk med hänsyn till kombinationseffekter med Stenungsundsutsläppen. Den fastställda sträckningen svarar mot alternativet VÄST 1 på återgiven kartskiss från vägverket. Som framgår av skissen går den planerade motorvägen betydligt närmare Stenungsund och fjordarna än den gamla E6-sträckningen. Detta innebär ett ökat bidrag till ozonbildning genom recirkulation med landbris och sjöbris. Det innebär också ett större ozontillskott i Stenungsundsplymen genom en effektivare inblandning av trafikemissionerna.



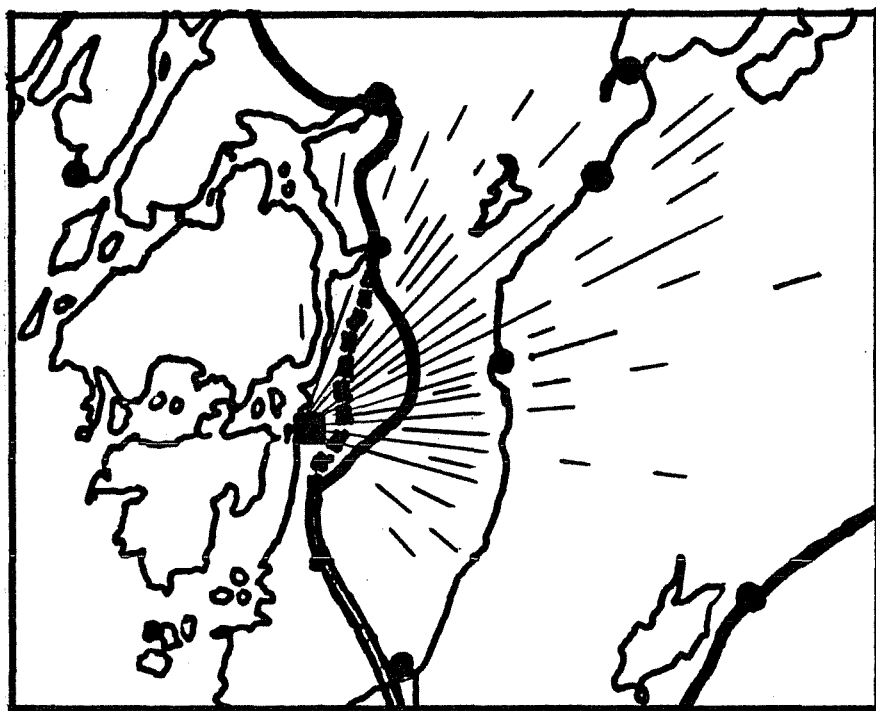


Motorväg och industriplym i sjöbris. I dagplymen från Stenungsundsindustrin är kväveoxider markerat begränsande för ozonbildningen även då plymen blandas in i förorenad luft som återförs med sjöbris (ref. VI). Den projekterade motorvägen går bara ett par km från industriutsläppen och på relativt hög höjd. Kväveoxidinblandningen från en sådan väg kan befaras öka ozonhalterna i industriplymen med ett par tiotal ppb. Den totala effekten förstärks av att topografin öster om industrierna delar upp och styr utsläppsplymerna så att de kan korsa den planerade vägen över en sträckning på flera km. Nuvarande E6 påverkar plymen mycket mindre genom sträckningen längre österut.

Motorväg och industriplym i långdistansozon. I högtrycks-situationer med vindstyrkor över 3-4 m/s utvecklas ingen recirkulation med landbris och sjöbris. Under sådana förhållanden kan ibland ändå höga ozonhalter uppträda genom intransport västerifrån av ozon med ursprung i utsläpp i Europa och Storbritannien. Till dessa adderas bidrag från svenska utsläpp.

En beräkning (ref. VI) pekar på att Stenungsundsplymen ger ett tillskott på ca 20 ppb vid en halt på ca 100 ppb ozon i en västlig luftström. Den jämförelsevis låga haltökningen beror återigen på att kväveoxider begränsar ozonbildningen. Även i denna plymtyp kan därför den projekterade motorvägens kväveoxidutsläpp leda till betydligt ökade ozonhalter.

Påverkade områden. I följande kartskiss markeras vilka områden som främst berörs av dagplymen från Stenungsund. I stort sett samma områden får ökade ozonhalter genom inblandning i plymen av kväveoxider från en ny motorväg.

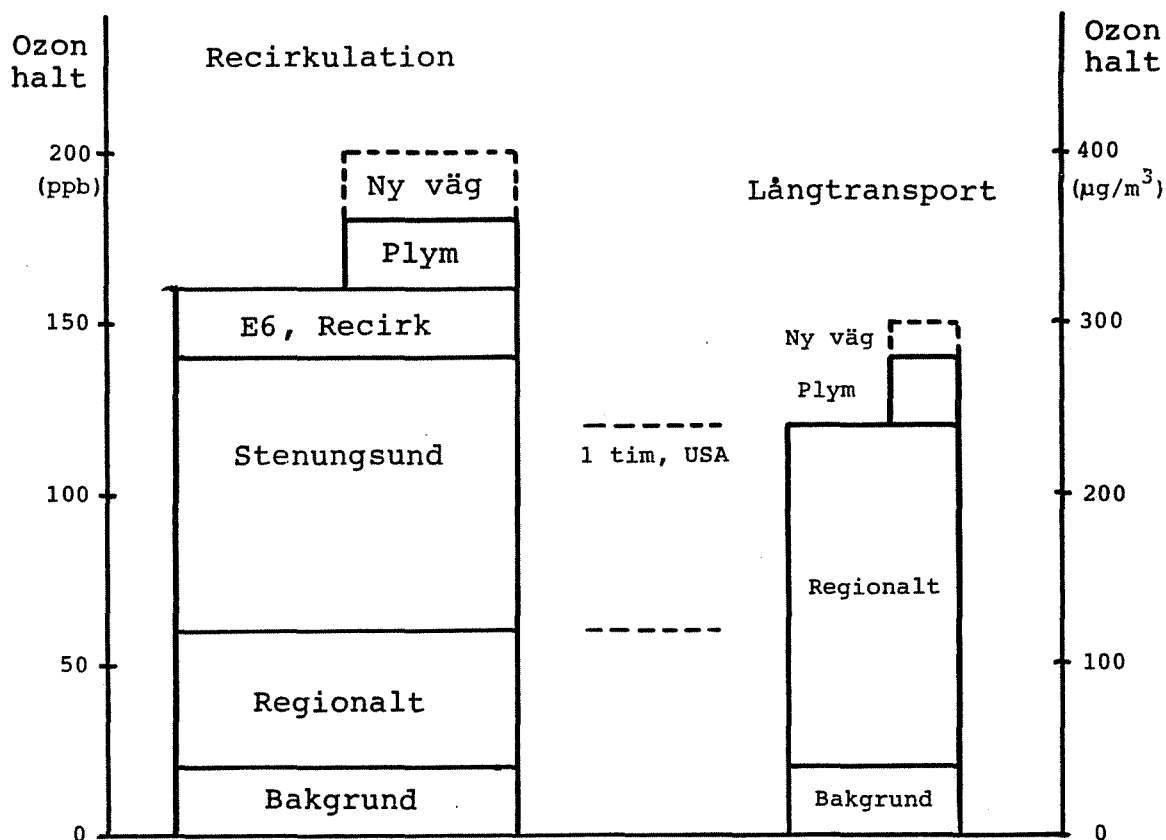


Vid vindstyrkor över dem som medger recirkulation måste man räkna med att plymen med förhöjda ozonhalter når åtminstone fem mil in över land. Särskilt Trollhättans kommun hamnar då också inom det område som påverkas. Samverkan med utsläppen i bl a Trollhättan kan förvärra situationen i vissa områden såsom på Hunneberg.

Förstadagsplymen från en punktkälla kan vara kilometer-smal på de avstånd som ger högst ozonhalter. Den kan samtidigt pendla över olika områden beroende på vindvariationer. Det är då betydelsefullt att höga ozonhalter under endast ett par timmar ofta ger värst skogsskador.

# OZONHALTER OCH SKOGSSKADOR

Stapelldiagrammen nedan ger en översikt av olika bidrag till ozonhalten 5-10 km in över land under sommarförhållanden gynnsamma för ozonbildning. Perioder med recirkulation via landbris och sjöbris torde vara vanligare förekommande än episoder med direkt intransport av höga ozonhalter från Europa.



Recirkulation. Det regionala bidraget kan här variera kraftigt beroende på hur stora tillskotten från bl a Europa och Göteborgsområdet är vid tillfället ifråga. Deposition under natten bör dock leda till att det regionala bidraget blir betydligt mindre än vid ozonepisoder med långdistanstransport västerifrån.

Även de olika lokala ozontillskotten kan variera betydligt. Dagplymen från Stenungsund och den projekterade motorvägen ger ett tillskott till ozonbildningen i recirkulerad luft, men detta tillskott berör som tidigare visats främst den norra delen av området.

Långtransport. Mätningar har visat på ännu högre halter än stapeldiagrammets vid vissa tillfällen längst ut mot havet på Västkusten. Troligen blir halterna lägre i Stenungsund p g a deposition och ökad blandningshöjd över land.

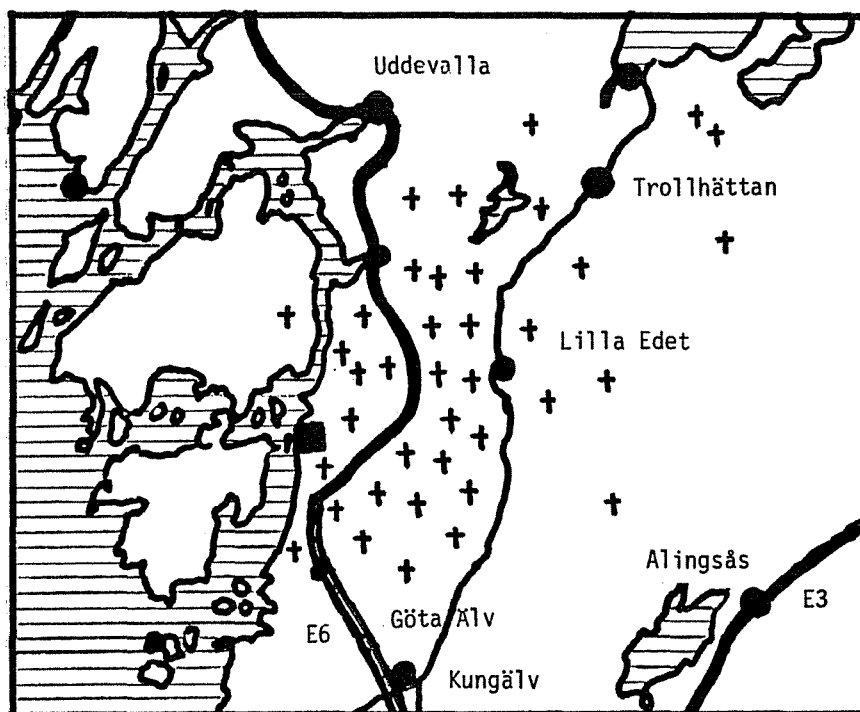
Gränsvärden. De ozonhalter som beräknats för Stenungsund ligger i nivå med de högsta halter som observerats på olika håll i Europa. I USA är entimmesgränsvärdet för ozon 120 ppb. Vegetationsskador kan dock uppträda vid lägre halter och uppgår årligen till miljardbelopp i USA. I de flesta andra länder som har gränsvärden eller riktvärden för ozon har dessa satts lägre. För Sverige har i en särskilt utredning riktvärdet 60 ppb föreslagits (ref. X). Detta skulle få överskridas högst 1 timme per växtsäsong!

Skogsskador. De halter som anges i stapeldiagrammen är aktuella under flera eftermiddagstimmar och därför värre med hänsyn till växtskador än samma halter under endast en timme. Vid fyratimmarsexponering anses direkta skador på trädens barr och löv börja uppträda någonstans i intervallet 60-170 ppb (ref. X).

Skogen i det studerade området skadas alltså med största sannolikhet av förekommande ozonhalter. Skadeeffekten förvärras dessutom avsevärt av den samtidiga förekomsten av svaveldioxid, kvävedioxid och en rad andra luftföroreningar (ref. X).

Det bör särskilt observeras att liksom för de flesta andra typer av biologiska/ekologiska effekter av kemiska ämnen ökar skadeeffekten snabbt när väl den halt eller dos som ger skador överskridits. Detta innebär att en relativt begränsad utsläppsökning i ett område som redan börjat drabbas av skador kan ge en mycket snabbt förvärrad skadesituation.

Följande kartskiss sammanfattar var nuvarande utsläpp från industri och trafik i Stenungsund bedöms orsaka skogsskador via oxidantbildning. Tätare placerade kors indikerar högre halter och värre skogsskador.



## VAD KAN GÖRAS FÖR SKOGEN

Stenungsundsutsläppen utgör via oxidantbildning ett överhängande hot mot skogsområden på åtminstone 500 km<sup>2</sup>. Detta hot har börjat diskuteras i ett mycket sent skede och framstår först nu i sin fulla vidd. Den uppkomna situationen kräver därför också ett radikalt nytänkande när det gäller åtgärder. Detta avsnitt skisserar olika möjligheter som kombinerade effektivt bör kunna begränsa skogsskadorna.

### Stenungsunds industri

Minskade skadeeffekter måste vara huvudmålsättningen. Införande av bästa utsläpps begränsande teknik för befintlig industri är då ett första steg. Miljöutredning Stenungsund (MUST) begränsar sig i stort sett till denna snäva infallsvinkel på utsläppsproblemen. Ett andra steg av speciell betydelse med hänsyn till skogsskador är att utsläppen styrs i tiden så att oxidantbildning begränsas. Ett tredje steg är att lokalisering, produkter och processer inom petrokemisk industri får styras av hänsyn till miljöpåverkan.

Bland de enskilda kolvätena är det med hänsyn till skogen särskilt angeläget att minska de stora utsläppen av eten och propen. Huvuddelen av dessa kommer från Statoils kracker och från Nestes polyetentillverkning. Etenutsläppen dominerar mängdmässigt, men propen är förhållandevis värre genom en snabbare förstadagsbildning av ozon. Dessutom ger propen PAN-bildning och produkter med hög mutagenicitet.

Oxidantproblemets koppling till sommarhalvårets högtrycksperioder öppnar intressanta åtgärds perspektiv. Detsamma gäller dygnsvariationen för återcirkulation med landbris och sjöbris. En särskilt effektiv möjlighet är långa semesterstängningar som i möjligaste mån förläggs till sommarens intensivaste högtrycksperioder. En lägre produktionsnivå på sommaren än under vintern verkar också i rätt riktning.

Tillfälliga utsläpp i samband med reparationer och driftomställningar kan ibland bli mycket stora. Dessa bör styras så att de inte inträffar under sommarhögtryck. Under sådana bör också utsläpp som kan styras över dygnet ske företrädesvis kl 16-22 för att undvika recirkulation och förhöjd oxidantbildning i utsläppsplymen.

Med hänsyn till förstadagsbildning av ozon är det viktigt att reducera de för ozonbildningen begränsande kväveoxiderna. Detta kan ske genom minskning av utsläppen från förbränning inom industrierna. Det kan också ske genom att transporter till och från industrierna överförs från dieselfordon till järnväg.

### Motorvägstrafik

En minskning av de stora kväveoxidutsläppen från E6 är särskilt betydelsefull i just Stenungsundsområdet eftersom kväveoxiderna här är begränsande för ozonbildningen. Utsläppen från den nuvarande motorvägen söderut är allvarliga genom att de kan recirkuleras med landbris/sjöbris tillsammans med industriutsläppen. Utsläppen från den planerade nya motorvägsträckningen St. Höga-Ljungkile kan både recirkuleras och blandas in i dagplymen från Stenungsund i större utsträckning än utsläppen från nuvarande E6 på sträckan.

Bland olika möjligheter att minska E6-utsläppen ger sänkta hastigheter till 80 km/h eller kanske t o m 60 km/h särskilt stora utsläppsminskningar för just kväveoxider. En sänkning från 110 km/h till 60 km/h ger ungefär en halvering av kväveoxidutsläppen från bensinbilar (ref. XII).

Avgiftsbeläggning för fordon som använder motorvägen ger en möjlighet att dels få bort onödig trafik och dels belasta de skadliga utsläppen med en rimlig miljöavgift. Särskilt betydelsefullt är att en flexibel avgift kan användas för att styra trafiken bort från de mest olämpliga tiderna (kl 02-12) på dygnet. De gynnsammaste tiderna (kl 16-22) skulle kunna vara helt avgiftsfria. Det är också sakligt motiverat men kanske i praktiken svårt att begränsa avgiftsuttag till enbart högtrycks-situationer.

Särskilda restriktioner och/eller avgifter för genomfartstrafik med tunga dieselfordon är motiverade med hänsyn till de stora kväveoxidutsläppen från dessa. Gods-transporter via järnväg med t ex kombisystem ger ett bra alternativ. För transporter till och från Stenungsunds-industrin har denna ett egenintresse av att järnvägs-alternativet utnyttjas maximalt.

Personbilstransporter på tåg är ett alternativ som redan tillämpas av SJ på vissa sträckor just under sommaren. Skogsskadet i Stenungsundsområdet motiverar detta för t ex sträckorna Köpenhamn-Oslo, Göteborg-Oslo och Göteborg-Strömstad. Samtidigt erhålls betydande miljövinster även av andra slag och i andra regioner.

Sammantagna är miljöargumenten mot den planerade motorvägen St. Höga-Ljungskile mycket starka. Nyinvesteringar bör i stället satsas på järnvägsalternativen.



### Stenungsunds kommun

Kommunen kan genom olika slag av insatser minska de utsläpp som påverkar skogen betydligt. Att dessa möjligheter verkligen utnyttjas är en viktig hjälp även för industrin eftersom det är de totala utsläppen som måste ned till en acceptabel nivå.

Stimulering av en snabb övergång till bilar med katalytisk avgasrening minskar personbilsparkens avgasutsläpp. Ett sätt att medverka till detta är krav på katalytisk avgasrening för tjänstebilar som används inom kommunen inklusive industrin. Ett än bättre alternativ kan vara stimulans av användning av elbilar och andra helt avgasfria transportsätt.

Slopade bilreseavdrag skulle kunna få stor betydelse för att minska bilpendlingen från främst Göteborg. Göteborgs- pendling med tåg på Bohusbanan bör göras till ett mer attraktivt alternativ.

Utsläpp från mindre företag och verksamheter kan på olika sätt minskas. Ett exempel är de betydande kolväteutsläppen från bensinstationerna. Dessa kan nästan helt elimineras med teknik för återföring av bensinångor.

## HANDLINGSMÖJLIGHETER

Syfte: Att begränsa oxidantskador på skog

Område: Stenungsundsregionen

Tid: Sommarhalvåret; maj-september

### Petrokemi

- Tekniska utsläppsbegränsningar
- Långa sommarsemesterstängningar
- Reducerad sommar drift
- Tillfälliga utsläpp tidsplaneras
- Godstransporter överförs till järnväg

### Motorväg - E6

- Hastighetsbegränsning till 80 km/tim
- Färdavgift kl 22-16
- Godstransitering på järnväg
- Personbilstransitering på järnväg
- Järnvägsutbyggnad i stället för ny motorväg

### Kommunen

- Tjänstebilar med katalytisk avgasrening
- Slopade bilreseavdrag
- Avgasfria transportsätt prioriteras
- Bensinångor återförs vid bensinstationer

## MUST, MILJÖSKYDDET OCH MOTORVÄGEN

Möjligheterna att få till stånd utsläppsminskningar och andra åtgärder beror i hög grad på vilken information om orsakssamband som finns tillgänglig. Därför är det viktigt att granska faktorer som styr vilken information som tas fram.

### MUST och skogen

Delprojekt "Luft" i MUST (Miljöutredning för Stenungsund) omfattar projekt för mer än tre miljoner kronor (ref. VIII). Några av rapporterna är värdefulla - denna studie grundas t ex delvis på resultaten från emissionsbestämningar med spårgasmetodik (ref. VII) och från beräkningar av oxidantbildning (ref. VI). Uppenbara brister finns dock; inte minst när det gäller kopplingen mellan utsläpp och skogsskador.

Ett märkligt förhållande är att industriutsläppens betydelse för skogsskador kom in först i ett sent skede av MUST. Att de kolväten som emitteras från petrokemisk industri ger en omfattande oxidantbildning har varit känt i decennier från studier i framför allt USA. På senare år har fältstudier i Västtyskland (ref. I) och t o m Norge bekräftat att detta gäller även för europeisk petrokemisk industri.

Modellberäkningarna av ozonbildning vid recirkulation med landbris/sjöbris är centrala i MUST:s skogsskadedel. Även om beräkningsresultaten tolkas med försiktighet pekar de mot svåra skogsskador av industriutsläppen. De sammanfattande MUST-rapporterna avspeglar inte detta och inte heller den vidsträckta geografiska omfattning av skogsskadande ozonhalter som beräkningarna utvisar.

Viktiga basfakta för bedömningen av oxidantbildning från Stenungsundsutsläppen har inte tagits fram inom MUST. Några exempel följer.

- Utbredningen av utsläppen över fjordbassängen med landbris påverkar starkt vilka områden som kan drabbas av höga oxidanthalter. Denna utbredning kan klarläggas med spårgasmetodik.
- Spridningsvägar med sjöbris för industriernas dagpolymer är viktiga med hänsyn till halttillskotten av bl a ozon. Även här kan spårgasteknik ge information.
- De atmosfärkemiska reaktionernas hastighet är betydelsefull för oxidantproblemets omfattning och karaktär. Bestämning av haltrelationer mellan eten och propen kan då ge relevant information.
- Inblandning av motorvägsutsläpp i industriförorenad luft påverkar starkt oxidantbildningen. Recirkulation av trafikemissioner kan klarläggas genom analyser av bensen och alkylbensener.
- Mätningar av ozon och PAN på väl valda platser skulle kunna bekräfta storleksordningen av beräknade halter.
- Flygplansmätningar av ozon skulle liksom i USA och Västtyskland kunna användas för att verifiera bl a vilka områden som drabbas hårdast.

### Systemfel!?

En vanlig förmodan bland kritiska granskare av MUST är att utredningen delvis är tillrättalagd för att bereda väg för en fortsatt utbyggnad av den petrokemiska industrin. En granskning av den organisatoriska uppbyggnaden av MUST motsäger knappast en sådan förmodan.

Styrelsen och projektledningen för MUST (ref. IX) utgörs av representanter för Stenungsunds kommun, Länsstyrelsen i Göteborg och Statens Naturvårdsverk (= regeringens förlängda arm). Vid sidan av MUST-utredningen finns en referensgrupp med tio representanter för industrin. Ingen motsvarande grupp finns för den drabbade sidan (skogsägare, lantbrukare, fiskare, allergiker, cancersjuka etc). Delprojekt "luft" leds från IVL som via konsultverksamhet delvis är ekonomiskt beroende av och knutet till industrisidan. Dessa förhållanden medför en uppenbar risk att kortsiktiga hänsyn till industri och sysselsättning påverkar MUST:s inriktning och slutsatser.

Den organisatoriska uppläggningsen av MUST har många paralleller inom svenskt miljöskydd. Luftvårdsförbunden, där den miljöstörande industrin direkt sitter med och bestämmer vilka regionala luftföroreningsstudier som görs är ett exempel. Nyligen har en opinionsundersökning visat att svenska folket litat mycket mer på oberoende miljöorganisationer än på myndigheterna i miljöfrågor. Detta för det positiva med sig att en intensiv miljödebatt hålls vid liv. Men nackdelarna är att miljö och människor skadas om inte centrala fakta om samband mellan t ex utsläpp och miljöskador tas fram snabbt och tydligt. Ofta påverkas även näringslivets rykte och långsiktiga intressen negativt. Kanske skulle det vara en bra lösning om fria miljöorganisationer fick disponera en del av budgeten för t ex MUST för egna undersökningar och för en kritisk granskning av resultaten. En sådan lösning skulle också kunna bidra till att färre miljöforskare blir uppbundna till miljöstörande industri och myndigheter.

### Skadestånd för skogsskador

Ett naturligt sätt att följa upp MUST är fastställande av rimliga skadestånd för skogsskador med utgångspunkt från miljöskyddslagens bestämmelser om strikt skadeståndsansvar. Detta kan samtidigt ge en juridiskt objektiv prövning av orsakssambanden mellan utsläpp och skogsskador. Vattenfall har redan tidigare betalat ut viss ersättning till skogsägare för svaveldioxidskador. Oxidantskador orsakade av petrokemins utsläpp är rimligen mycket mer omfattande. Även detta talar för en skadeståndsprövning.

Virkesförlusterna i det område som drabbas värst av Stenungsundsutsläppen uppgår till kanske 10-100 miljoner kronor per år. En närmare bedömning kan förmodligen göras då alla resultat är klara från den flygfotografering av skogsskador som gjorts i vissa flygstråk i Västsverige. Skadorna ger dock inte bara virkesförluster utan också ett omfattande merarbete för skogsägarna med uttag av skadade träd och med skogsföryngring. De värden som går förlorade i olika förädlingsled kan dessutom vara flera gånger större än själva virkesförlusterna.

Frågans principiella vikt och de stora skogsvärden som står på spel motiverar ekonomiska garantier, t ex rätts-hjälp, för att drabbade skogsägare skall kunna föra sin talan. Självklart behöver juridisk expertis och sakkunniga ombud med stor erfarenhet av skadeståndsmål enligt miljöskyddslagen anlitas. Erforderliga sakkunnigutredningar kan kanske finansieras av MUST?

Det bör betonas att de värden i form av skadad natur som går förlorade naturligtvis är mycket större än enbart skogsnäringens förluster. Därför är det desto viktigare att åtminstone skogsnäringens förluster får full tyngd i den ekonomiska vågskålen.

### Mer motorväg?

I årets budget har medel reserverats för byggande av ny motorväg mellan St. Höga och Ljungskile. Detta är just den sträcka som genom en olycklig kombination mellan bilavgaserna och Stenungsundsindustrins utsläpp kan bidra mer till ökade skogsskador än kanske någon annan svensk motorvägssträcka av motsvarande längd.

Denna nya information gör det angeläget att en koncessionsprövning av vägen görs innan ett eventuellt definitivt beslut tas om byggande av vägen. Motorvägens inverkan på oxidantbildningen från petrokemins utsläpp och därmed på skogsskadorna har tidigare inte studerats varken i MUST eller i Vägverkets motorvägsstudier.

En ny motorväg medför att hårdare krav måste ställas på industrins utsläpp för att undvika skogsskador. Detta kan bli en svår ekonomisk belastning för petrokemin och kan förhindra utbyggnader och nyetableringar. Näringslivet i Bohuslän kan därför ha anledning att ompröva sin hittills pådrivande inställning i motorvägsfrågan. Sannolikt vinner industrin på att i stället medverka till att utveckla järnvägsalternativen i Bohuslän!

LITTERATUR

- I "AIR POLLUTION BY PHOTOCHEMICAL OXIDANTS"  
R. Guderian Ed., Springer-Verlag, 1985  
Första delen av detta verk behandlar bildning, spridning och haltmätningar av oxidanter med betoning på det senaste decenniets forskning i Västtyskland. Andra delen ägnas åt oxidanternas effekter på växter.
- II "BILAVGASER OCH SKOGSDÖD"  
Chalmers Forskarförhör, Informationssekretariatet CTH, 412 96 Göteborg, 1985  
Rapport från en utfrågning av svenska forskare om bilavgasernas och andra luftföroreningars roll för skogsdöden i Sverige.
- III "FRÅN KOLVÄTEUTSLÄPP TILL SKOGSSKADOR"  
av Göran Petersson, Kemisk Miljövetenskap CTH, 1985  
En miljöeffektstudie inför Volvos Uddevallaetablering utförd på uppdrag av miljö- och hälsoskyddsnämnden i Uddevalla. Behandlar olika aspekter på lokal oxidantbildning utifrån tillgänglig vetenskaplig litteratur.
- IV "DÖD ELLER LEVANDE - en bok om skogsdöden"  
red. Birgit Nielsen, Håkan Pleijel och Jan-Erik Svensson, Bokskogen och Miljöförbundet, 1985  
Bred genomgång av olika aspekter på skogsdöden i Sverige. Behandlar luftföroreningar på ett lättillgängligt sätt.
- V "LUFTFÖRORENINGARNA BAKOM SKOGSDÖDEN"  
av Göran Petersson, Kemisk Miljövetenskap CTH, 1984  
Behandlar olika luftföroreningars roll för skogsskadorna i Sverige. Utgår från atmosfärkemi och jämför luftföroreningshalter och skogsskadespridning.



- VI "BEREGNING AV DANNEELSE AV FOTOKEMISKE OKSIDANTER FRA PETROKJEMIANLEGGENE I STENUNGSUND  
av Øystein Hov, ingår i MUST-rapport nr 29 (SNV-rapport 3175) 1986  
Komprimerad och delvis svårtillgjenglig rapport om resultat från användning av en avancerad beräkningsmodell för oxidantbildning. Rapporten är en viktig utgångspunkt för en bedömning av luftföroreningspåverkan på skog.
- VII "SPÄRGASUNDERSÖKNINGAR FÖR KVANTIFIERING AV DIFFUSA KOLVÄTEUTSLÄPP FRÅN INDUSTRIERNA I STENUNGSUND  
av Bjarne Sivertsen och Dag Tønnesen, MUST-rapport nr 11 (SNV-rapport 3129) 1986  
Rapporten redogör för de bestämmingar av utsläppsmängder som anses som de hittills pålitligaste för den petrokemiska industrin i Stenungsund.
- VIII "DELPROJEKT LUFT - SLUTRAPPORT"  
av Peringe Grennfelt och Gun Lövblad, IVL, MUST-rapport nr 32 (SNV-rapport 3178) 1986  
Ger en översikt av de studier av luftföroreningsproblem som gjorts inom MUST.
- IX "MILJÖ I STENUNGSUND"  
slutrapport av styrelsen för MUST (SNV-rapport 3208) 1986  
Ger en översikt av genomförda studier inom MUST samt styrelsens förslag.
- X "LUFTFÖRORENINGAR OCH VÄXTSKADOR"  
av Lena Skärby (SNV-rapport 3049) 1985  
Underlagsrapport för framtagning av svenska riktvärden för ozon. Ger en värdefull översikt av samband mellan oxidanthalter och växtskador.

XI "THE MUTAGENIC ACTIVITY OF THE PRODUCTS OF PROPYLENE  
PHOTOOXIDATION

av T.E. Kleindienst m fl, Environ. Sci. Technol.

19 (1985) 620-627.

Pionjärarbete som påvisar hög mutagenicitet för gasformiga produkter från propen. Ger utförliga data om atmosfärkemiska reaktioner och reaktionsprodukter för propen.

XII "GESCHWINDIGKEITSREDUKTION UND SCHADSTOFFAUSSTOSS"

Bundesamt für Umweltschutz, Bern, 1984

Omfattande utredning om samband mellan hastighet och bilavgasutsläpp gjord av motsvarigheten i Schweiz till naturvårdsverket.

KOLVÄTEN GER OZON

Vissa av de atmosfärkemiska reaktioner som leder till bl a ozonbildning är ljusberoende (fotokemiska). Höga växtskadande halter uppträder därför främst under sommaren vid högtrycksbetonat väder. Utsläpp av kolväten och kväveoxider på morgonen leder efter några timmars reaktions- och transporttid till höga ozonhalter på eftermiddagen.

Ozonbildning - första dagen. Utsläpp från trafik och industri etc ger nästan alltid ett maximalt halttillskott av ozon inom ett dygn från det att utsläppet sker. Ett stort antal studier (ref. III) har påvisat detta i de förorenade luftmassorna (plymerna) från utsläppen. Efter en eller flera nätter har utsläppens inverkan mer karaktär av en viss förhöjning av bakgrundshalten av ozon. Spridnings- och omvandlingsmekanismerna bakom dessa förhållanden är numera relativt väl kända.

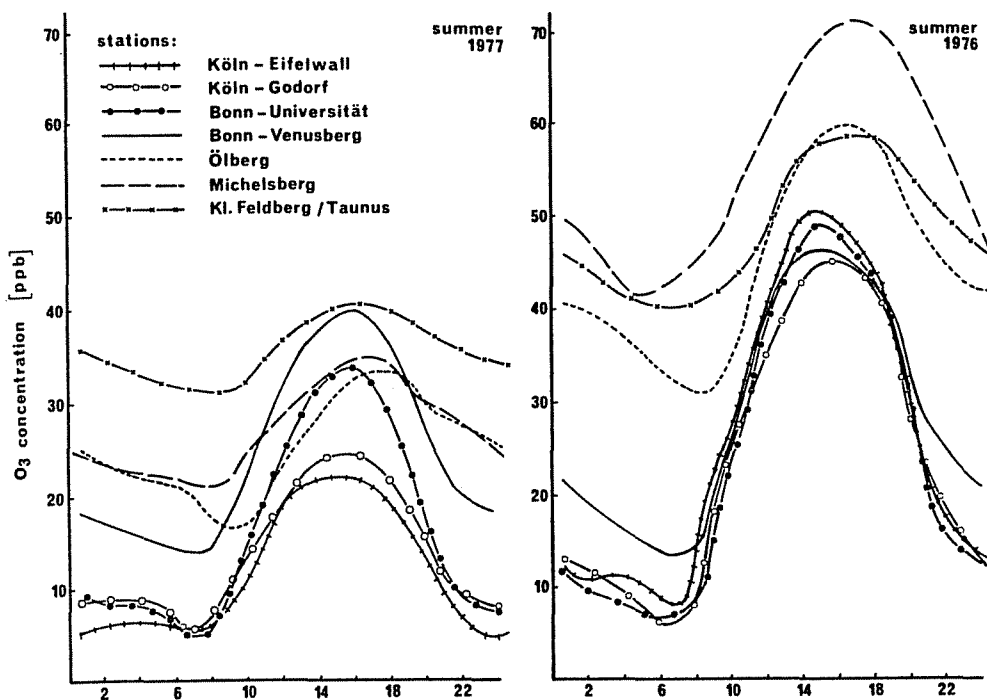
Kolväten styr förstadagshalterna. Det senaste decenniets forskning kring oxidantbildning i utsläppspolymer har visat att höga förstadagshalter av ozon i avgörande grad orsakas av kolväteutsläpp. Kväveoxidutsläpp har oftast inte alls lika stor betydelse. Dessa förhållanden gäller t ex för de vidsträckta plymerna från vanliga tätortsområden, där såväl kolväten som kväveoxider främst härrör från bilismen.

Kolvätenas avgörande roll kan förklaras med utgångspunkt från de väl kända kemiska reaktionsvägarna för ozonbildning. Kväveoxiderna fungerar i princip som en katalysator för ozonbildningen och förbrukas endast i långsam takt. I förorenad luft med hög ozonbildning finns de vanligtvis i mer än tillräcklig mängd. Kolvätena förbrukas däremot snabbt vid oxidantbildningen och ju mer kolväten som tillförs desto mer omfattande kan oxidantbildningen bli.

Kolväteutsläpp värst lokalt. Kolvätenas avgörande roll för uppkomsten av lokala skogsskadande topphalter av ozon m fl oxidanter innebär att skogsskador kan begränsas effektivt genom lokala utsläppsminskningar inriktade på kolväteutsläpp. Detta miljöpolitiskt centrala förhållande har hittills knappast varit allmänt känt i Sverige.

DYGNSVARIATION FÖR OZON

I diagrammen nedan (ref. I) visas dygnsvariationen för ozonhalten i luften vid sju västtyska mätstationer i Kölnområdet, d v s i ett inlandsområde. Diagrammen visar genomsnittliga halter under perioden april till september för 1977 resp 1976. De tre undre kurvorna gäller stationer på låg höjd nära tätortsområde. De tre övre gäller bergsplacerade stationer på avstånd från tätortsområdena.



Säsongsvariationer. Höga halter erhålls främst under sommarhögtrycksperioder. Ett år med många och långa sådana (t ex 1976) uppvisar därför särskilt höga medelhalter.

Atmosfärkemi. Nybildning av ozon sker endast under dagen eftersom bildningen är kopplad till fotokemiska reaktioner. Haltökningen genom nybildning kan bli särskilt stor i förorenad tätortsluft.

Kemisk förbrukning av ozon i luft sker genom reaktion med kvävemonoxid. Detta medför sänkta ozonhalter nära kväveoxidutsläpp från t ex biltrafik. Under natten då ingen nybildning av ozon sker bidrar detta till sjunkande ozonhalter mer generellt i tätortsområden.

Vertikaltransport och deposition. Högtrycksförhållanden karakteriseras av en effektiv vertikal omblandning inom blandningsskiktet (1-2 km) under dagtid. Under natten råder däremot markinversion med minimala vertikala luft-rörelser.

Ozon försvinner från marknära luft genom deposition på mark och vegetation. Under nattens markinversion leder detta till kraftigt sänkta halter nära mark. Under dagen är depositionen än större, men den kompenseras då av ozonnedblandning från högre höjd.

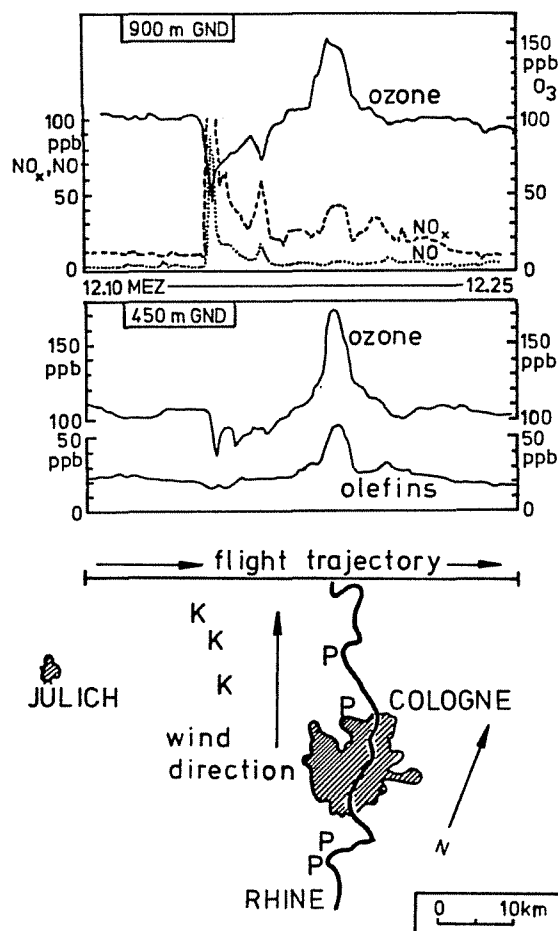
När markinversionen bryts på morgonen blandas luft från högre höjd med högre ozonhalter ned till marken. Den haltökning som då erhålls vid markstationer är ofta av samma storleksordning som haltökningen på grund av nybildning av ozon.

Halter på hög höjd. Den luft som förs in mot berg och andra höjdlägen kommer till stor del från luftlager på hög höjd över marken. Jämfört med marknära luft blir därför haltsänkningarna för ozon genom deposition mycket mindre. Detsamma gäller eventuella haltsänkningar genom reaktion med kvävemonoxid.

De högre ozonhalterna i höjdlägen kan kopplas till de svårare skogsskadorna i sådana lägen. Normalt är också vindarna starkare i höjdlägen vilket medför att trädens ozonupptag ökar ytterligare.

OZON I UTSLÄPPSPLYMER

Nedan illustreras resultat (ref. I) av kontinuerliga mätningar i flygplan vid flygning i sommarhögtrycksväder genom plymen från Köln. På kartan har markerats Kölns tätortsområde samt läget för tre brunkolseldade kraftverk (K) och fyra petrokemiska anläggningar (P). Flygrutten vinkelrätt mot vindriktningen har också lagts in på kartan. Däröver redovisas haltvariationer utefter flygsträckan 450 m resp 900 m över mark.



Tätorter. Utsläppen av kolväten och kväveoxider från olika tätorter blir ofta relativt likartade till sin sammansättning eftersom fordonstrafiken vanligen står för ca hälften av utsläppen av båda grupperna av ämnen. Under väderförhållanden sommartid som gynnar ozonbildning stiger typiskt halterna i förstadagsplymen över de regionala ozonhalterna. Hur mycket och hur snabbt beror på utsläppens sammansättning och storlek, på väder- och vindförhållanden, på omgivningens topografi och på flera andra faktorer.

Petrokemi. Fordonstrafikens kväveoxidutsläpp i tätorter är vanligen så stora att kolväteutsläppen blir begränsande för ozonbildningen i förstadagsplymen. Petrokemisk industri kan då genom betydande kolväteutsläpp öka ozonbildningen i en tätortsplym avsevärt. Vid stora utsläpp av särskilt reaktiva kolväten som propen kan dessutom ozonbildningen ske snabbare. Dessa faktorer styrker att petrokemins utsläpp till stor del orsakar de uppmätta starkt förhöjda ozonhalterna i delar av Kölnplymen.

Kraftverk. Kol- och oljeförbränning ger mycket stora utsläpp av kväveoxider (och svaveldioxid) men jämförelsevis mycket små utsläpp av kolväten. Kväveoxiderna ( $\text{NO}_x$ ) i utsläppen utgörs främst av kvävemoxid ( $\text{NO}$ ) som reagerar snabbt med ozon under bildning av kvävedioxid ( $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$ ). Därigenom sjunker ozonhalterna i plymen under den regionala nivån som här är ca 100 ppb. Kolvätehalten i plymen är för liten för nämnvärd nybildning av ozon så länge inte kolväten från andra utsläpp blandas in i plymen.

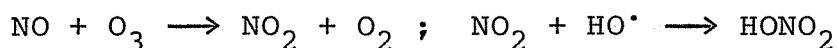
Marknivåhalter. Med hänsyn till vegetationsskador och hälsorisker är det ozonhalterna i marknivå som är intressanta. På grund av dels ofullständig vertikal luftomblandning och dels depositionen av ozon på mark och vegetation blir dessa betydligt lägre även under dagen än på de flygplansstuderade höjderna. Haltförändringarna som orsakas av lokala utsläpp blir dock i relation till de regionala halterna ännu större.



KOLVÄTEN OCH KVÄVEOXIDER

I detta avsnitt tas några viktiga och ofta förbisedda aspekter på samverkan mellan kolväten och kväveoxider upp.

Kolväteutsläpp försurar. Kolväteutsläpp spelar i samband med oxidantbildning en viktig och ofta förbisedd roll även för förurningen. Detta beror på att halten av OH-radikaler ökar kraftigt i fotokemiskt aktiva kolväteförorenade luftmassor. Överföringen av kväveoxider till försurande salpetersyra enligt givna reaktioner snabbas därmed upp.



Svaveldioxid omvandlas på ett likartat sätt till svavelsyra genom reaktion med OH-radikalen. Totalt sett ökar både kvävedepositionen ( $\text{NO}_2 + \text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$ ) och det sura nedfallet under plymen. Paradoxalt nog kan alltså minska kolväteutsläpp effektivt minska såväl kvävedeposition som förurning under förstadagsplymen.

Kväveoxider ger bakgrundsozon. I regioner långt från utsläppsområden anses kväveoxiderna tillsammans med bl a kolmonoxid och metan vara orsaken till den ozonbildning som där sker i låga halter men över mycket stora arealer. De ökade utsläppen av bl a dessa tre ämnen bedöms ge kontinuerligt ökande bakgrundshalter av ozon. Sådana ökande bakgrundshalter har uppmätts i Europa (ref. X). Detta minskar alltmer utrymmet för lokala oxidantbildande utsläpp när det gäller att förhindra skogsskador. Därför måste det internationella arbetet för minskade skogsskador av oxidanter innefatta minskningar av kväveoxidutsläppen.

Kväveoxider lokalt. Kväveoxidernas underordnade betydelse för ozonhalterna i de flesta förstadagsplymer hindrar inte att det kan finnas andra lokala skäl att minska kväveoxidutsläppen. Kväveoxiderna orsakar bl a bildning av en mängd nitroföreningar och organiska nitrater med i många fall högtoxiska men dåligt kända egenskaper. Hälsoaspekten på kväveoxider och deras reaktionsprodukter är också ett starkt skäl för sänkta lokala kväveoxidutsläpp.

Kväveoxider i skogen. En osäkerhetsfaktor när det gäller kväveoxidernas roll är vad som händer i mikromiljöerna nära blad och barr och i luftmiljön inne bland trädens kronor i skogarna. Där tillkommer bl a relativt höga halter av terpenener som utsöndras av träden själva. Det är inte uteslutet att kväveoxidernas roll delvis förändras i denna annorlunda kemiska miljö.

VÄSTKUSTEN SÄRSKILT UTSATT

Utifrån givna allmänna utgångspunkter är det möjligt att dra vissa slutsatser om luftföroreningssituationen i Västsverige med avseende på skogsskador. Det är framför allt också möjligt att bedöma vilken roll olika lokala utsläpp kan spela för oxidantbildning och skogsskador.

Västsverige och Västtyskland. Många frågar sig hur det är möjligt att ozonhalterna kan vara lika höga och skogsskadorna lika svåra utefter Västkusten som i stora delar av Västtyskland. Utsläppen där är ju betydligt större!

En del av förklaringen ges av att bidraget från långdistanstransport över hav är större utefter Västkusten. Vid mätstationer utefter Sveriges västkust och Norges sydkust ligger ibland ozonhalterna från enbart långdistanstransport i närheten av de nivåer som ger växtskador. Den mer omfattande långdistanstransporten över vatten jämfört med land beror främst på att depositionen är mycket mindre till vatten än till mark och vegetation. Dessutom är omblandningen upp till hög höjd mindre än över land eftersom vattenytor inte värms upp alls lika mycket som landytor under dagen.

En kanske ännu viktigare skillnad är oxidantbildningen utefter Västkusten från utsläpp som recirkuleras med hjälp av landbris och sjöbris. Utsläpp från natt och morgon förs med landbris ut över vatten, där depositionen är låg och förutsättningarna för oxidantbildning under förmiddagen mycket goda. Med sjöbrisen transporteras sedan oxidanter m fl föroreningar in flera mil över land under eftermiddagen. Landbris/sjöbrissystemet är också speciellt välutvecklat just under de högtrycksförhållanden som gynnar oxidantbildning.

Varning för kustnära utsläpp. Landbrisen är relativt svag och täcker över land en remsa på ofta mindre än en mil utefter kusten. Det är alltså utsläpp inom denna smala zon som kan ge speciellt höga bidrag till oxidantbildningen. Tyvärr ligger många västsvenska tätorter och industrier just inom denna zon. Dessutom går europaväg E6 i huvuddelen av sin sträckning så nära kusten att avgaserna kan föras ut med landbrisen.

Sjöbrisen är betydligt starkare än landbrisen och når ett par mil in över land. Dessutom är det vanligt att sydvästvindar sedan för förstadagsplymen ytterligare några mil in över land. Effekten av landbris och sjöbris kan alltså sammanfattas så att utsläpp inom en ca halvmilsbred kustzon ger speciellt förhöjda oxidanthalter och förvärrade skogsskador inom en ca fem mil bred zon utefter kusten.

Effekten av landbris och sjöbris finns naturligtvis även utefter våra övriga kuster och runt de stora insjöarna. Utefter stora delar av dessa kuststräckor är dock bidragen från långdistanstransport mindre, vilket ger något större marginaler till skogsskadande halter.

Bensinbilarna kolvätehot. Eftersom det är kolväten som först och främst sätter en gräns för hur höga förstadagshalter av ozon som uppnås är det ur lokal skogsskadesynpunkt oftast kolväteutsläppen som är viktigast. För hela Sverige svarar biltrafiken för ca 60% av dessa. Diesel-drift svarar bara för någon enstaka procent. Bensinångor och bensinavgaser dominerar alltså och har dessutom en för oxidantbildning gynnsam kemisk sammansättning. Avgasutsläppen åtföljs ju också alltid av mer än tillräckligt stora kväveoxidutsläpp för att en effektiv oxidantbildning skall kunna ske.

I första hand är det trafiken under högtrycksperioder under månaderna maj-augusti som ger en hög oxidantbildning. Det är också i första hand morgontrafiken som ger stora bidrag.

Stora industriella kolväteutsläpp. Flera stora industriella kolväteutsläpp finns i Västsverige. Bland dessa märks Volvos och Saabs bilfabriker i Göteborg resp Trollhättan med tillsammans utsläpp på ca 5000 ton/år. Från den petrokemiska industrin i Stenungsund släpps ut ca 3000 ton/år. Ingående kolväten har i samtliga tre fall en sammansättning som gynnar förstadagsbildning av oxidanter. Höga ozonhalter kan förväntas på någon eller några mils avstånd i utsläppsplymerna. I alla de nämnda fallen tillkommer dessutom ozonbildning från stora trafikemissioner av kolväten och kväveoxider. Skogsskadekartläggningar via flygfotografering har visat på markanta skogsskador i de berörda områdena.

Även raffinaderierna i Lysekil och Göteborg svarar för stora kolväteutsläpp. Dessa är delvis av en typ som reagerar långsammare fotokemiskt och de maximala haltbidragen till första dagens ozonbildning torde därför bli lägre.

